



Finanziato
dall'Unione europea

NextGenerationEU



Ministero
delle Infrastrutture
e dei Trasporti



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Assessorato dei Lavori Pubblici

Ente acque della Sardegna

Ente Abbas de Sardigna

Servizio Progetti e Costruzioni



PNRR

PIANO NAZIONALE PER LA RIPRESA E RESILIENZA

D.M. MIMS n. 517 del 16.12.2021 - All. 1

Codice di intervento PNRR-M2C4-I4.1-A2-50

Diga Monte Pranu: interventi di verifica della sicurezza
e ripristino del paramento di valle delle dighe in terra

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA-ECONOMICA

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Allegato

R1-1

REDATTO DAL SERVIZIO PROGETTI E COSTRUZIONI

Responsabile del Procedimento:

Geol. Ignazio Ghironi

Progettisti:

Ing. Giuseppe Colleselli, Prog. Ing. Francesco Colleselli

Collaborazioni tecniche:

M. Albano, M.Menarbin, E. Nisato

colleselli & p.
INGEGNERIA GEOTECNICA

Il Direttore Generale

Il Direttore del Servizio
Ing. Stefano Serra

CAGLIARI - Dicembre 2022

DATA	VERIFICA	APPROVAZIONE RUP	APPROVAZIONE
23/12/2022	G. Colleselli		

Ente Acque della
Sardegna
Servizio Progetti e
Costruzioni

COMUNE di Tartalias

Progetto di fattibilità
tecnico economica

Diga Monte Pranu:
interventi di verifica della
sicurezza e ripristino del
paramento di valle delle
dighe in terra.

Relazione Illustrativa

Data	23/12/2022	
Commessa	22-S085	
Codice	R1	
Rev.	Redatto	Approvato
1	EN	GC

Sistema
di gestione
della qualità
certificato



Sommario

1	PREMESSE	3
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	7
2.1	Normativa di riferimento.....	7
2.2	Documenti di riferimento.....	7
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	8
4	STATO ATTUALE DELLE OPERE	9
4.1	Descrizione delle opere	9
4.2	Studi pregressi	13
4.3	Dati di monitoraggio	13
4.4	Sopralluogo.....	19
4.5	Cause dei dissesti	22
5	INTERVENTI IN PROGETTO	24
5.1	Analisi delle alternative	24
5.2	Descrizione interventi in progetto	28
5.2.1	Interventi principali	28
5.2.2	Interventi secondari.....	33
	ALLEGATO 1: ELABORATI PROGETTO ORIGINALE	34
	ALLEGATO 2: DATI MONITORAGGIO	34

1 PREMESSE

Con Determina del Direttore del Servizio Progetti e Costruzioni dell'Enas n. 1353 del 28/10/202022, è stato affidato l'incarico del Servizio di redazione del Progetto di fattibilità tecnica ed economica dei lavori denominati "PNRR-M2C4-I4.1-A2-50: Diga Monte Pranu: interventi di verifica della sicurezza e ripristino del paramento di valle delle dighe in terra" allo Studio Colleselli & P. Ingegneria Geotecnica.

L'invaso di Monte Pranu è ubicato tra i comuni di Villaperuccio, Tratalias e Gibba ed è nato con lo scopo di creare un serbatoio da utilizzare per scopi irrigui per i comprensori del Basso Sulcis e realizzato per la regolazione delle piene del Rio Palmas.

L'invaso è costituito da cinque sbarramenti che realizzano un serbatoio della capacità di 63 Mm³. Lo sbarramento principale sorge sul Rio Palmas alla sezione di Monte Pranu, mentre sono stati realizzati altri tre sbarramenti secondari, tra i quali le dighe in terra di Case Mias e Bavorada, che costituiscono parte delle sponde Sud e Sud Ovest dell'invaso e sono l'oggetto del presente PFTE.

Le dighe di Case Mias e Bavorada, previste nel progetto del 1934 in muratura, sono state poi realizzate come delle dighe in terra tra il gennaio del 1949 e il settembre del 1950.

I sondaggi eseguiti dal Servizio Dighe durante le fasi di progettazione, presso Case Mias e Bavorada, nel 1948 oltre ad ulteriori indagini eseguite in corso d'opera sui terreni di fondazione, avevano evidenziato la presenza di coltri argillose sovrapposte ad una formazione trachitica profonda. Poiché le coltri argillose diminuivano il loro spessore in corrispondenza delle spalle delle dighe dove si erano individuati gli affioramenti rocciosi, il progetto fu modificato e il nucleo argilloso delle dighe immorsato nelle coltri argillose.

Nel 1953, con il progetto di variante del 35° lotto della Bonifica del Basso Sulcis, la geometria delle dighe fu in parte modificata, riducendo la pendenza delle scarpate di monte e valle, i lavori terminarono nel 1957. La Figura seguente riporta uno schema rappresentativo delle attuali caratteristiche delle dighe in terra.

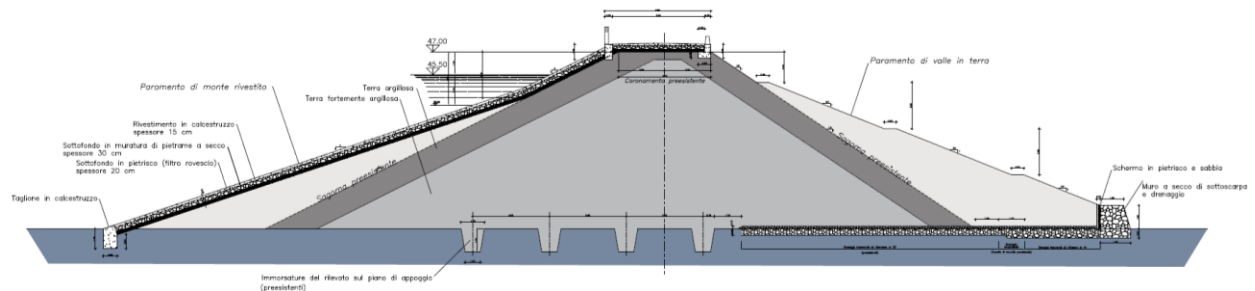


Figura 1.1 Sezione di riferimento delle dighe in terra Case Mias e Bavorada (Cinigeo, 2022)

Nel 2003 il coronamento delle due dighe è stato oggetto di interventi di manutenzione straordinaria che hanno riguardato il ripristino della quota di progetto del coronamento a seguito dei cedimenti che negli anni hanno interessato il corpo diga e il rifacimento dei cordiali in c.a. presenti in sommità al corpo diga.

In seguito ad una specifica prescrizione dell'UTD di Cagliari, l'ENAS ha provveduto ad eseguire il rilievo topografico dei paramenti di valle delle dighe in terra di case Mias e di Bavorada, dal quale è emerso come i paramenti di valle di entrambe le dighe, soprattutto nelle zone centrali dello sviluppo dei rilevati, siano stati soggetti nel tempo a fenomeni erosivi nella parte alta, con parziale accumulo di materiale eroso nella zona al piede di valle, causati probabilmente dalle pendenze originarie delle scarpate troppo elevate. Nello specifico è stato prescritto il ripristino dei profili di progetto previa ricarica di materiale nella parte erosa e nel contempo di provvedere ad interventi di protezione e stabilizzazione delle superfici dei paramenti.

A seguito della rivalutazione idrologica per la gestione degli eventi di piena nei principali serbatoi artificiali della Sardegna, elaborata dal Dipartimento di Ingegneria Ambientale e Architettura dell'Università di Cagliari (DICAAR), si è resa necessaria la verifica della sicurezza idraulica degli sbarramenti secondari in materiali sciolti facenti parte del sistema di dighe del lago di Monte Pranu.

Con nota n. 17665 del 01.08.2018 il MIT – Div. 5 – Coordinamento e controllo delle dighe in esercizio, ha richiesto all'ENAS, per la Diga di Monte Pranu, la verifica dell'esatta ubicazione della struttura di tenuta dei tre argini.

ENAS ha quindi affidato affidato al Consorzio Interuniversitario Nazionale per l'Ingegneria delle Georisorse (CINIGEO) l'incarico del "Servizio di consulenza tecnica

relativo agli studi di stabilità delle dighe in terra di Case Miais e Bavorada (Lago di Monte Pranu)” che ha compreso sia la redazione e supervisione di un piano di indagini geognostiche.

Alla fine di luglio 2022 le risultanze delle indagini e prove di laboratorio effettuate sulle dighe in terra dell’invaso di Monte Pranu sono state condivise con il Servizio Dighe ENAS e con il CINIGEO, incaricato dallo stesso Servizio Dighe della redazione di relazione e elaborati tecnici concernenti:

- ricostruzione del modello geotecnico degli argini;
- valutazione della stabilità delle dighe previste dalla normativa vigente;
- ricostruzione della superficie piezometrica all’interno degli argini, in corrispondenza dei vari regimi idraulici.

Nell’ottobre 2022 il CINIGEO ha provveduto a consegnare al Servizio Dighe le risultanze di tali studi riguardanti la verifica della stabilità delle due dighe e lo studio dei moti di filtrazione attraverso il corpo diga ed i terreni di fondazione.

Le conclusioni dello studio riportano quanto segue:

“Nei riguardi della stabilità, ha messo in evidenza:

- *la stabilità globale delle due dighe sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche, rispetto a tutte le condizioni analizzate;*
- *sono comunque da segnalare possibili problemi legati alla stabilità locale del muro di sostegno dell’infrastruttura stradale nella sommità del corpo diga ed alcuni problemi legati all’erosione superficiale del paramento di valle delle due dighe;*
- *non sono stati messi in evidenza problemi legati alla liquefazione dei materiali costituenti il corpo e i terreni di fondazione né ai fenomeni di sifonamento”.*

Le conclusioni allo studio specificano inoltre che *“in riferimento ai moti di filtrazione:*

- *la caratterizzazione geotecnica ha messo in evidenza la sostanziale omogeneità geotecnica ed idraulica del corpo diga;*
- *l’analisi dei dati piezometrici storici e il confronto con le quote piezometriche rilevate dai piezometri di Casagrande all’interno del corpo diga hanno messo in evidenza la continuità idraulica tra il corpo diga e i terreni di fondazione;”*

Gli obiettivi principali dell'incarico ricevuto dallo studio Colleselli definiti nel Documento di Indirizzo alla Progettazione redatto da ENAS per l'intervento in oggetto riguardano:

- 1) Valutazione degli interventi necessari al ripristino della più idonea configurazione degli sbarramenti
- 2) Valutazione di fattibilità tecnico-economica di interventi finalizzati all'eliminazione delle infiltrazioni localizzate delle acque di invaso nel sottosuolo.

Tali interventi vanno intesi nell'ambito del finanziamento ammissibile pari a € 4.500.000,00 (importo per opere e oneri di sicurezza € 3.200.000,00) come indicato nell'Allegato 2 al citato D.M. n. 517/2021 per il "PNRR-M2C4-I4.1-A2-50: Diga Monte Pranu: interventi di verifica della sicurezza e ripristino del paramento di valle delle dighe in terra", Piano Nazionale settore idrico - sezione "Invasi" (CUP: I47H21004550005)

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- (1) D.M. 17/01/2018 “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”;
- (2) Circolare 02/01/2019 n.7 C.S.LL.PP. recante le istruzioni per l’applicazione del “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”.
- (3) Decreto Ministeriale 26 giugno 2014. “Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)” (NTD 14)
- (4) Codice dei contratti pubblici Decreto Legislativo 18.04.2016 n. 50 (G.U.R.I. 19.04.2016 n. 91) e smi
- (5) Regolamento di attuazione ed esecuzione del Codice dei contratti Decreto del Presidente della Repubblica del 5.10.2010 N. 207 e smi

2.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- (6) Cinigeo, Sbarramenti di Case Mias e Bavorada – Valutazione delle condizioni di stabilità e del flusso di filtrazione per Ente Acque della Sardegna, Ottobre 2022
- (7) Azienda Carboni Italiani, Direzione Lavori Bonifica, Lavori di bonifica del Basso Sulcis, Progetto di variante Costruzione del serbatoio de Monte Pranu per irrigazione e regolazione delle piene di Rio Palmas, Piante e Profili dei sondaggi, Case Mias e Bavorada, 20 luglio 1948;
- (8) ENAS, Documento di Indirizzo alla Progettazione da porre a base della progettazione dell’intervento “PNRR-M2C4-I4.1-A2-50: Diga Monte Pranu: interventi di verifica della sicurezza e ripristino del paramento di valle delle dighe in terra. Novembre 2022
- (9) ENAS, Invaso sul Rio Palmas a monte Pranu. Progetto di gestione dell’invaso e per l’esecuzione delle operazioni. Luglio 2016

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area dell'intervento è ubicata tra i comuni di Tratalias e Giba in Provincia del Sulcis Iglesiente (ex Provincia del Sud della Sardegna e Provincia di Carbonia Iglesias).

L'invaso di Monte Palmas è costituito da cinque sbarramenti, la presente relazione geologica si occupa delle due dighe in terra che costituiscono gli sbarramenti meridionali: la diga di Case Miais, con una lunghezza di circa 1400 m e la diga Bavorada con una lunghezza di circa 750 m.

Nella Figura seguente è mostrata l'ubicazione delle aree di intervento su foto satellitare, mentre nella Tavola *D01 - Corografia generale* su un estratto cartografico di Carta Tecnica Regionale con scala 1: 10.000.



Figura 3.1 Ubicazione dell'area degli interventi sulle dighe in terra su foto satellitare (Google Earth, 2022)

4 STATO ATTUALE DELLE OPERE

4.1 DESCRIZIONE DELLE OPERE

Le due dighe oggetto di intervento (Case Miais e Bavorada) sono realizzate in terra e costituiscono parte delle sponde Sud e Sud Ovest dell'invaso. Il progetto originario (variante del 1948) prevedeva il raggiungimento della quota sommitale di +47.0 m slm ed una sezione trapezia con base minore (sommità) di 6 metri e lati (sponde) con pendenza di 1:2 verso l'interno del lago e di 2:3 verso l'esterno. I lavori di costruzione delle dighe in terra iniziarono nel gennaio del 1949 e terminarono nel settembre del 1950.

Il successivo progetto del 35° lotto della Bonifica del Basso Sulcis (variante del 1953) introdusse modifiche alla struttura delle dighe. In particolare:

- aumento della sezione trasversale degli sbarramenti realizzando, con opportuni rinfianchi, la riduzione delle pendenze sia a monte sia a valle;
- realizzazione di un dreno al piede di valle delle dighe, per evitare che la linea di saturazione esca lungo il paramento di valle;
- rivestimento dei paramenti di monte con lastroni in calcestruzzo cementizio dello spessore di 15 cm gettati in sito su un sottofondo costituito da uno strato di spessore di 30 cm di pietrame a secco posto a sua volta sopra uno strato di 20 cm di pietrisco con funzione di filtro rovescio;
- esecuzione di un taglione in conglomerato cementizio spesso 70 cm e profondo mediamente 1.7 m finalizzato alla protezione del piede del rivestimento della parte bassa delle sponde dal moto ondoso durante l'invaso e lo svaso annuale (la quota è inferiore a quella dell'opera di presa);
- sistemazione della strada sommitale di larghezza 5 m, con sottofondo in pietrame dello spessore di 25 cm e manto di 17 cm in pietrisco amalgamato con emulsione bituminosa. La sede stradale così sistemata realizza la completa impermeabilizzazione della superficie sommitale delle due dighe.

I lavori di completamento terminarono nel 1957. La configurazione finale della sezione tipo delle due dighe dichiarata negli elaborati finali dei suddetti lavori è riportata in Figura 1.1 e Figura 4.1. In detti elaborati, il corpo arginale appare costituito, dall'interno verso l'esterno, da:

- il nucleo centrale di forma trapezoidale in "terra fortemente argillosa", immorsato nel terreno di fondazione mediante trincee alte 1.5 m e larghe 1 m;

- lo strato esterno di rivestimento in “terra argillosa”, di spessore variabile da circa 2 m in sommità a circa 10 m in fondazione e di circa 0.5 metri al coronamento;

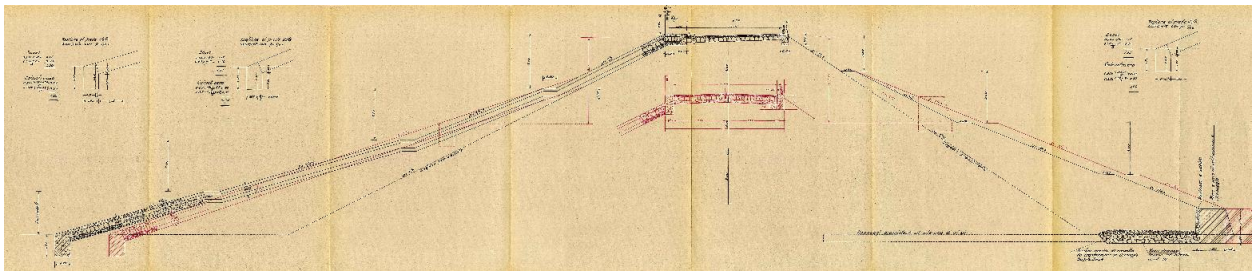
Il paramento di monte è rivestito, dall'interno verso l'esterno, da:

- uno strato in pietrisco di - spessore 20 cm con la funzione di filtro rovescio;
- uno strato in muratura di pietrame a secco di spessore 30 cm;
- il rivestimento in piastre di conglomerato cementizio di spessore 15 cm

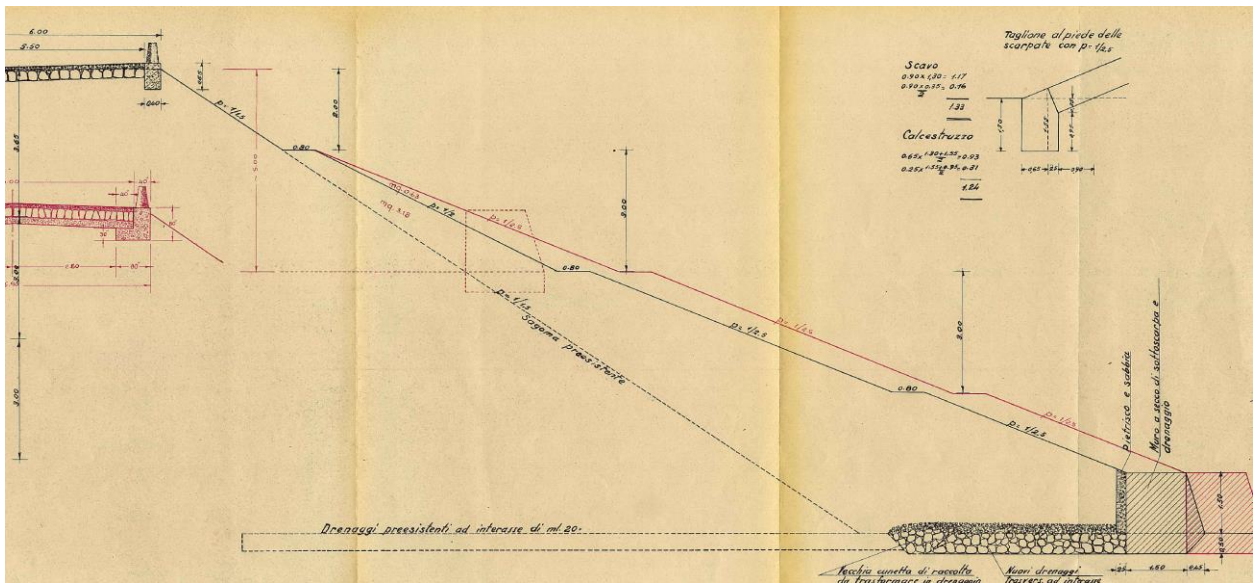
Il paramento di monte ha una doppia pendenza: il primo tratto (dal coronamento), per una lunghezza di circa 4 m, ha pendenza 1:2; il secondo tratto ha pendenza 1:3.

Il paramento di valle non è rivestito ed è sagomato da gradoni di altezza 3 metri e pendenza 1:2.5, con eccezione della parte sommitale che presenta pendenza 1:1.5.

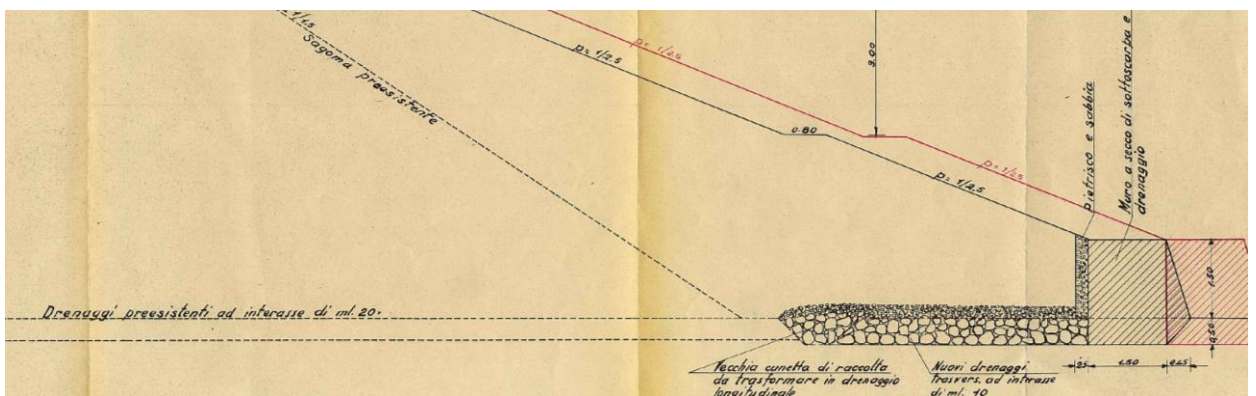
La diga è dotata di dreni trasversali in ghiaia disposti alla base della sponda di valle della diga (vedi Figura 4.1). I dreni trasversali sono stati realizzati con interasse 20 m, nel corpo diga originale, e pari a 10 m nell' tratto ampliato con perizia del '53, e collegati fra loro da un sistema di raccolta longitudinale.



a)



b)



c)

Figura 4.1 Sezione di riferimento delle dighe in terra Case Mias e Bavorada. Sezione tipo da Perizia di Variante del 1956 (a). Dettaglio paramento di valle (b). Dettaglio drenaggi (c)

Come già detto nel 2003 il coronamento delle due dighe è stato oggetto di interventi di manutenzione straordinaria che hanno interessato i muri o banchettoni presenti sia a monte che a valle del coronamento interessati da cedimenti, dell'ordine di 40-50 cm nell'arco di 50 anni circa. L'intervento ha previsto la demolizione dei muri esistenti, il ricalzo del piano di fondazione e il rifacimento dei muri stessi al fine di riportarli alla quota originale di progetto.

4.2 STUDI PREGRESSI

A disposizione degli scriventi oltre ad alcuni elaborati del progetto originale (Vedi Allegato 1), ci sono le risultanze degli studi condotti da Cinigeo (rif. (6)).

I risultati di tale studio forniscono un quadro positivo sulle condizioni di sicurezza che riguardano le due dighe in oggetto, di seguito si riportano per completezza le conclusioni di tale studio:

“Nei riguardi della stabilità, ha messo in evidenza:

- la stabilità globale delle due dighe sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche, rispetto a tutte le condizioni analizzate;*
- sono comunque da segnalare possibili problemi legati alla stabilità locale del muro di sostegno dell’infrastruttura stradale nella sommità del corpo diga ed alcuni problemi legati all’erosione superficiale del paramento di valle delle due dighe;*
- non sono stati messi in evidenza problemi legati alla liquefazione dei materiali costituenti il corpo e i terreni di fondazione né ai fenomeni di sifonamento”.*

Le conclusioni allo studio specificano inoltre che *“in riferimento ai moti di filtrazione:*

- la caratterizzazione geotecnica ha messo in evidenza la sostanziale omogeneità geotecnica ed idraulica del corpo diga;*
- l’analisi dei dati piezometrici storici e il confronto con le quote piezometriche rilevate dai piezometri di Casagrande all’interno del corpo diga hanno messo in evidenza la continuità idraulica tra il corpo diga e i terreni di fondazione;”*

4.3 DATI DI MONITORAGGIO

Sono stati messi a disposizione i dati del monitoraggio delle due dighe consistenti in:

- Misure di livellazione del coronamento. Per la diga Case Miais si riferiscono a n.42 capisaldi e 23 per Bavorada. Le misure (vedi allegato 2) sono disponibili con continuità dal 2011.
- Misure piezometriche. Per la diga di Case Miais riguardano n.5 coppie di piezometri e 4 per Bavorada. I dati riportano con continuità le misure dal 2006 ad oggi. Nel corso della campagna di indagine del 2022 sono stati installati n.2 ulteriori

piezometri del tipo a tubo aperto PB01 e PB02 in corrispondenza rispettivamente dei piezometri storici P07 e P11 e n.10 piezometri tipo Casagrande sia nel corpo diga che nei terreni di fondazione. È a disposizione solo una lettura per i piezometri più recenti, che fornisce livelli congruenti con quelli rilevati dai piezometri storici

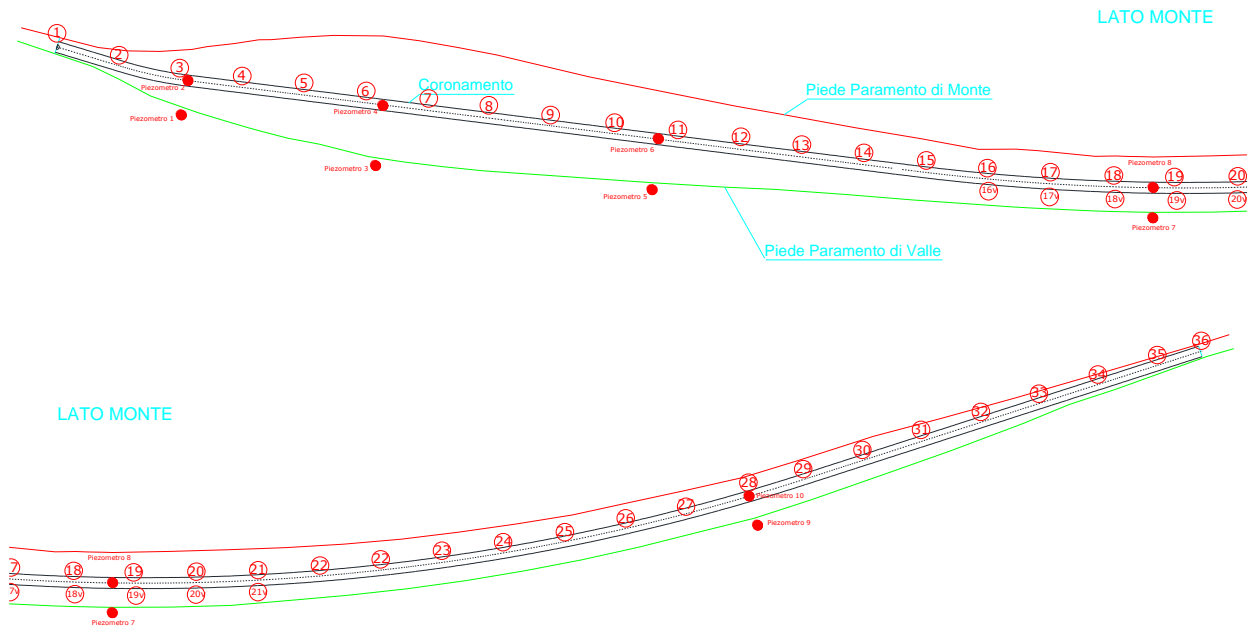


Figura 4.2 Diga Case Miais posizione capisaldi e piezometri "storici".

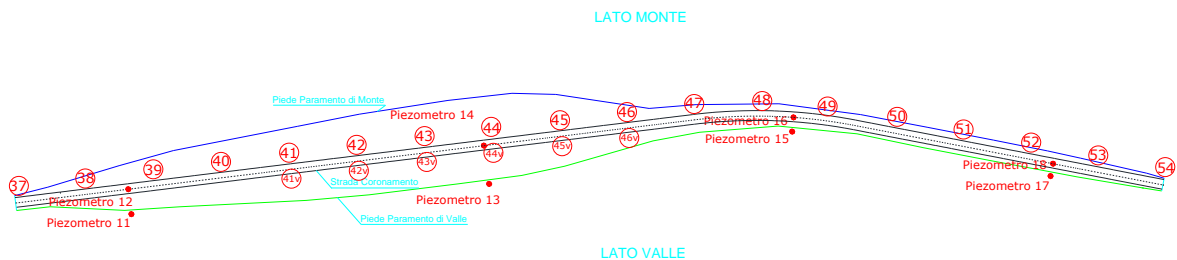


Figura 4.3 Diga Bavorada posizione capisaldi e piezometri "storici".

Le misure di livellazione condotte per Case Miais indicano cedimenti del coronamento molto limitati e generalmente inferiori a 20 mm dal 2011 ad oggi (vedi Figura 4.4); nella porzione centrale, dove i capisaldi sono stati posizionati sia sul cordolo di monte che di valle del coronamento, si rilevano cedimenti non superiori a 30 mm (vedi Figura 4.5). Si rileva una situazione differente in corrispondenza della parte più a est della diga dove sono stati misurati cedimenti (vedi Figura 4.6) sino a 100 mm; va però osservato che il corpo diga in tale area ha un'altezza molto limitata inferiore a 2÷2.5 m.

**Livellazione dighe Case Miais e Bavorada
L-L0**

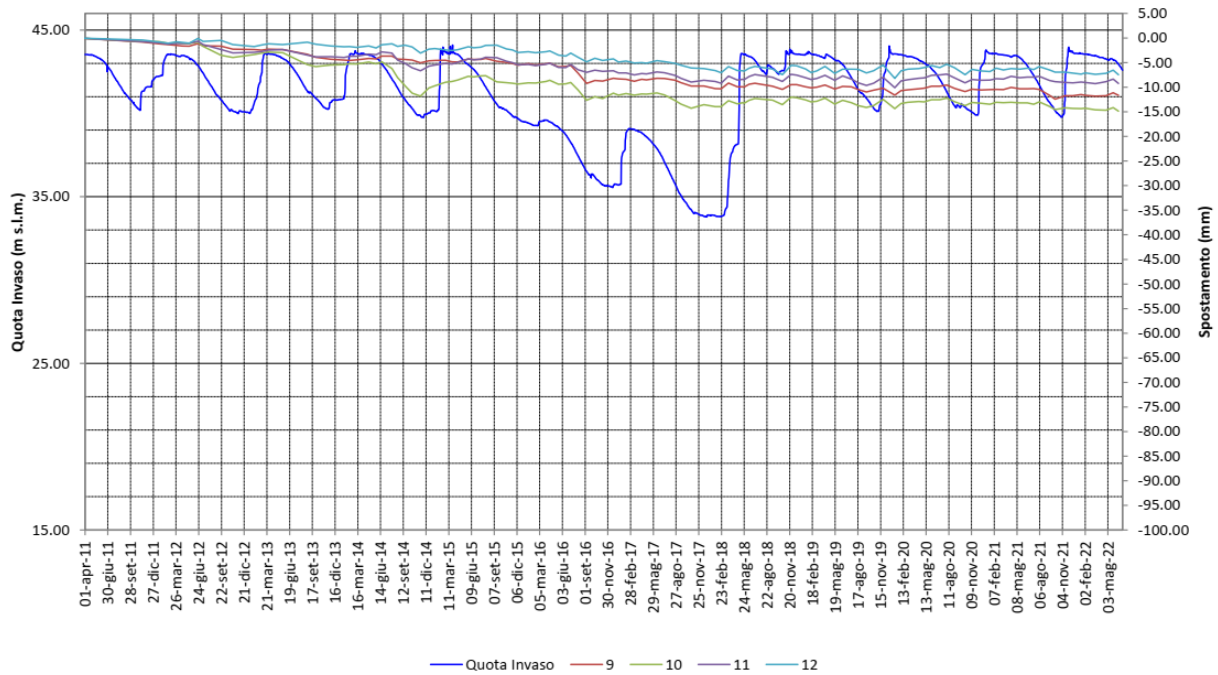


Figura 4.4 Diga Case Miais andamento dei cedimenti del coronamento nella porzione ovest della diga.

**Livellazione dighe Case Miais e Bavorada
L-L0**

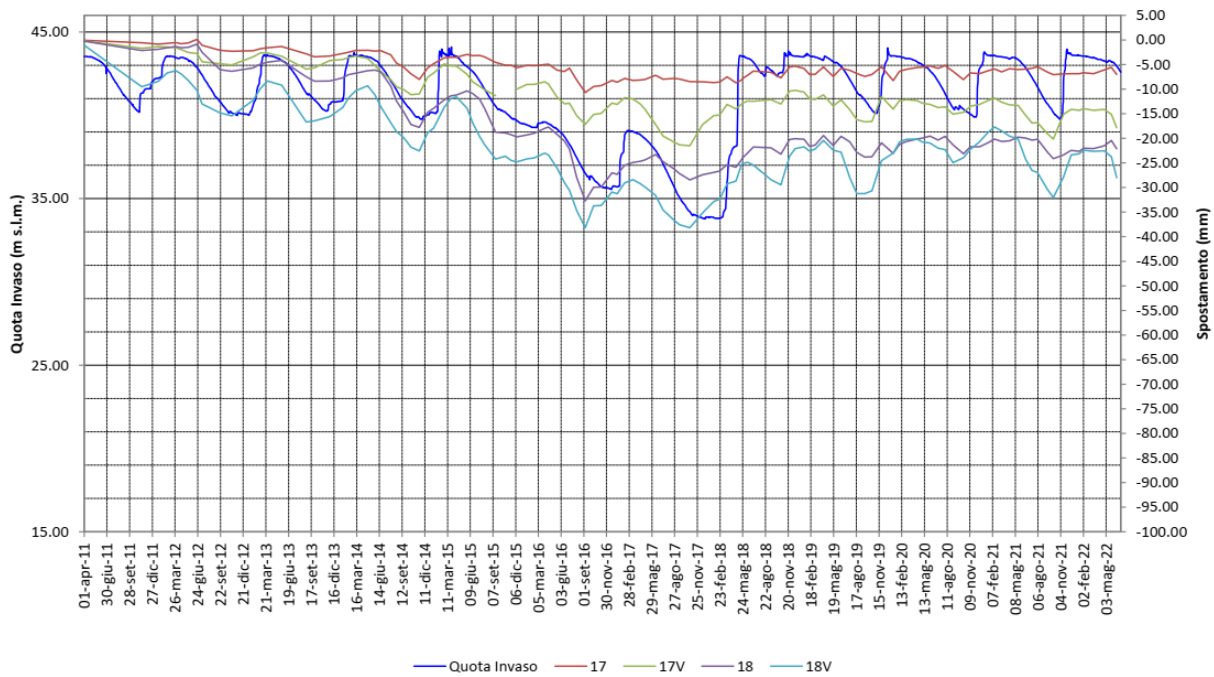


Figura 4.5 Diga Case Miais andamento dei cedimenti del coronamento nella pozione centrale della diga.

Livellazione dighe Case Miais e Bavorada
L-L0

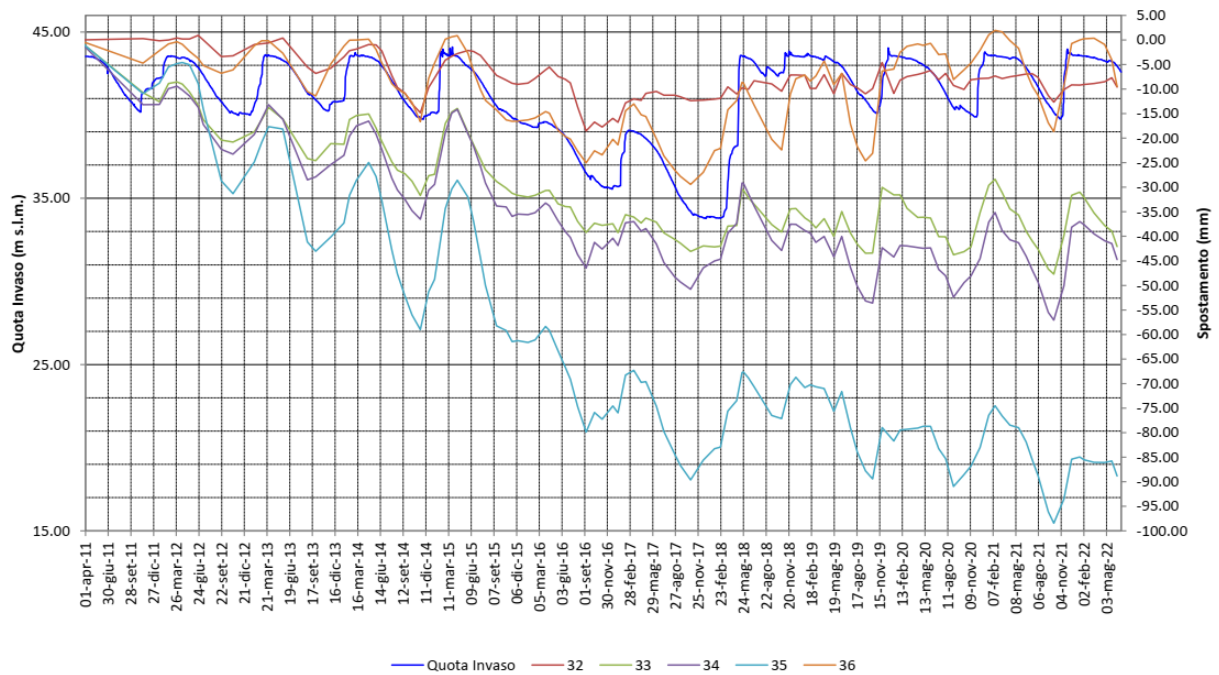


Figura 4.6 Diga Case Miais andamento dei cedimenti del coronamento nella pozione più a est della diga.

Le misure di livellazione condotte per Bavorada indicano, nella porzione centrale dove la diga ha un'altezza significativa, cedimenti con una marcata differenza tra il cordolo di valle (sino ad un massimo di 100 mm) e quello di monte (sino ad un massimo di 30 mm) (vedi Figura 4.7). Mentre nelle porzioni laterali, dove peraltro la diga presente altezze assai modeste, hanno cedimenti molto più contenuti (vedi Figura 4.8).

**Livellazione dighe Case Miais e Bavorada
L-L0**

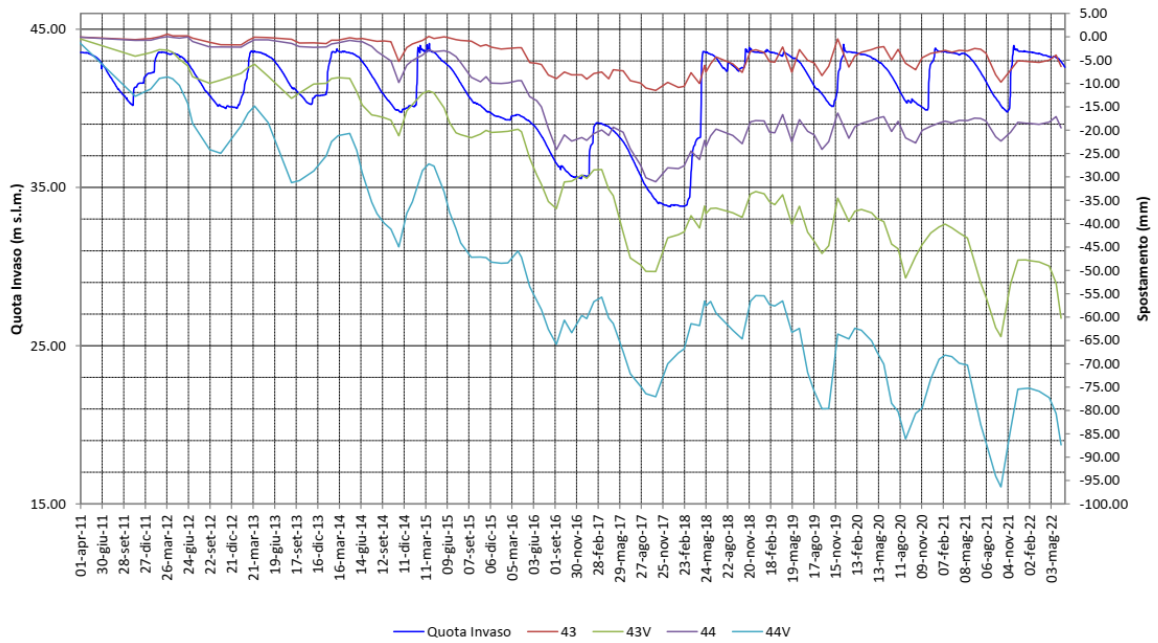


Figura 4.7 Diga Bavorada andamento dei cedimenti del coronamento nella pozione centrale della diga.

**Livellazione dighe Case Miais e Bavorada
L-L0**

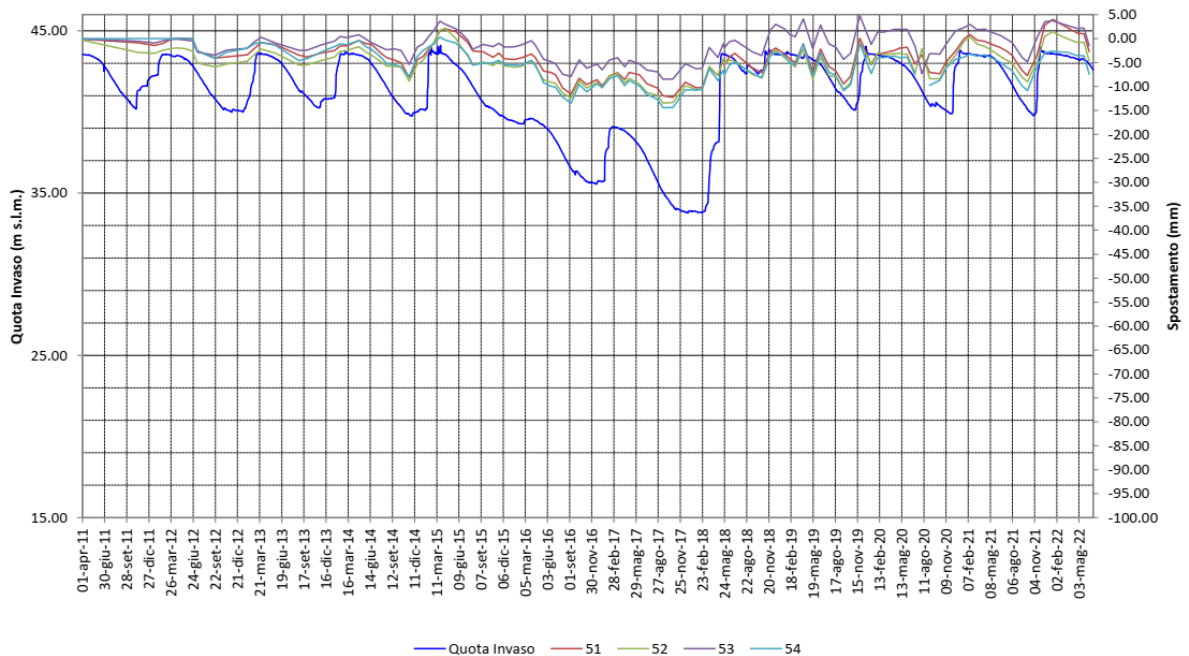


Figura 4.8 Diga Bavorada andamento dei cedimenti del coronamento nella pozione laterale della diga.

Nelle figure seguenti si riportano i risultati del monitoraggio piezometrico, con i dati disponibili dal 2006 ad oggi. Risulta evidente la netta correlazione tra la quota di invaso e i livelli piezometrici che si instaurano nel corpo diga e nei terreni di fondazione.

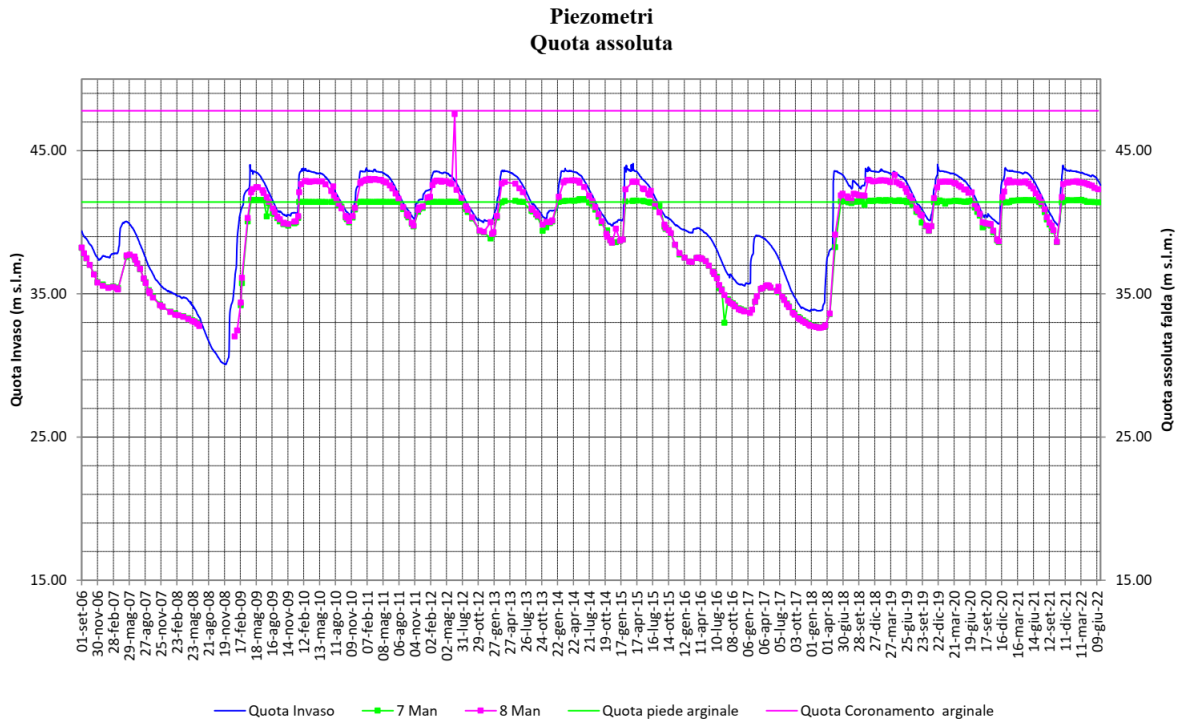


Figura 4.9 Diga Case Miais andamento dei livelli piezometrici.

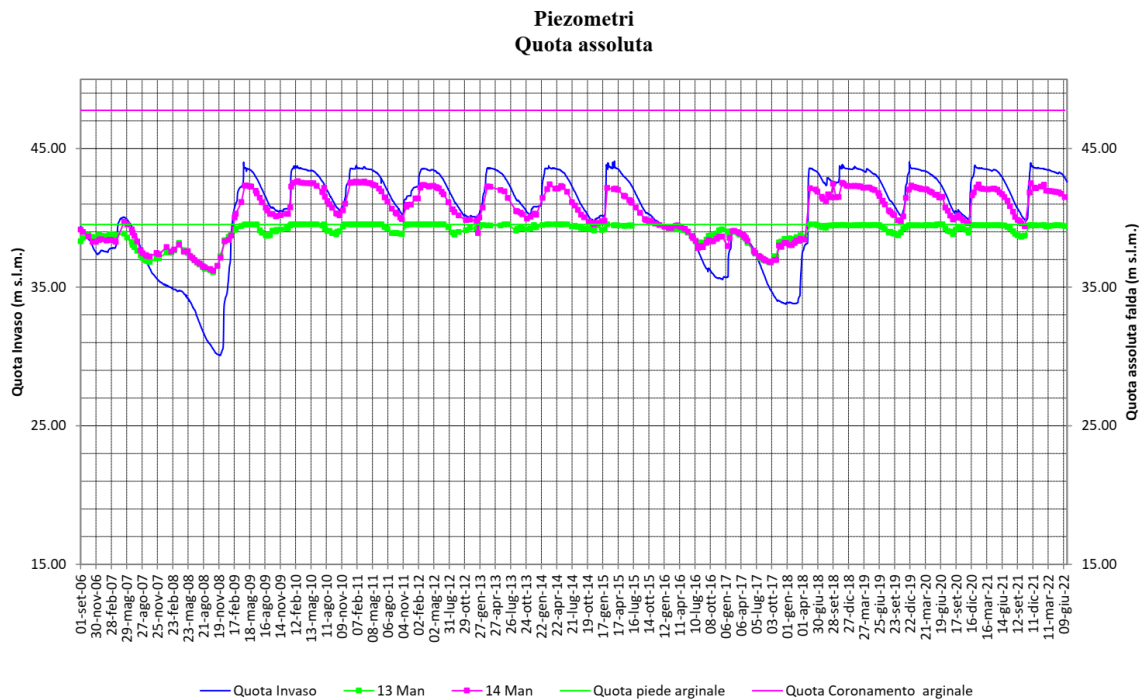


Figura 4.10 Diga Bavorada andamento dei livelli piezometrici

4.4 SOPRALLUOGO

Nel Novembre scorso è stato effettuato un sopralluogo per verificare lo stato dei luoghi.

Il paramento lato valle di entrambe le dighe risulta a tratti fortemente vegetato e non sempre risulta visibile il paramento.



Figura 4.11 Paramento di valle – Novembre 2022

La porzione di monte del paramento di valle appare, ove ben visibile, dissestata e scoscesa (vedi Figura 4.12).

Il conglomerato bituminoso sul coronamento presenta visibili fessurazioni longitudinali rappresentative di dissesti localizzati che interessano i muri in c.a. di sostegno della strada (vedi Figura 4.13). Tali lesioni appaiono molto evidenti in corrispondenza del muro di sostegno del coronamento lato valle nel tratto più a est della diga di Case Miais (vedi Figura 4.14). In tale sezione la diga ha un'altezza molto limitata (inferiore a 2 m), va però evidenziato come anche le livellazioni indichino tale area come zona da attenzionare.

Il muro a secco di valle si presenta a tratti molto dissestato e per qualche tratto parzialmente crollato (Figura 4.15).



Figura 4.12 Paramento di valle – Novembre 2022



Figura 4.13 Fessurazioni longitudinali dell'asfalto sul coronamento – Novembre 2022



Figura 4.14 Case Miais - Fessurazioni longitudinali dell'asfalto sul coronamento lato valle in corrispondenza dell'ingresso est della diga – Novembre 2022



Figura 4.15 Case Miais – Muro a secco di valle parzialmente crollato – Novembre 2022

4.5 CAUSE DEI DISSESTI

Dall'analisi di quanto sopra e dalle verifiche condotte (Vedi Relazione sui calcoli R3 del presente PFTE) si ritiene che i dissesti locali che hanno interessato il paramento di valle di entrambe le dighe siano legati ai seguenti fattori:

- eccessiva pendenza del paramento lato valle;
- corpo diga realizzato con terreni di media plasticità, che soggetti a cicli di essiccazione/imbibizione (wet/dry), possono dare luogo a fenomeni di fessurazione dei terreni coesivi e progressiva perdita resistenza al taglio;
- il regime di pressioni neutre che si instaurano nel corpo diga in condizioni di invaso;
- corpo diga soggetto a fenomeni di filtrazione che creano condizioni di erosione lenta che nel tempo impoveriscono lo scheletro del terreno;

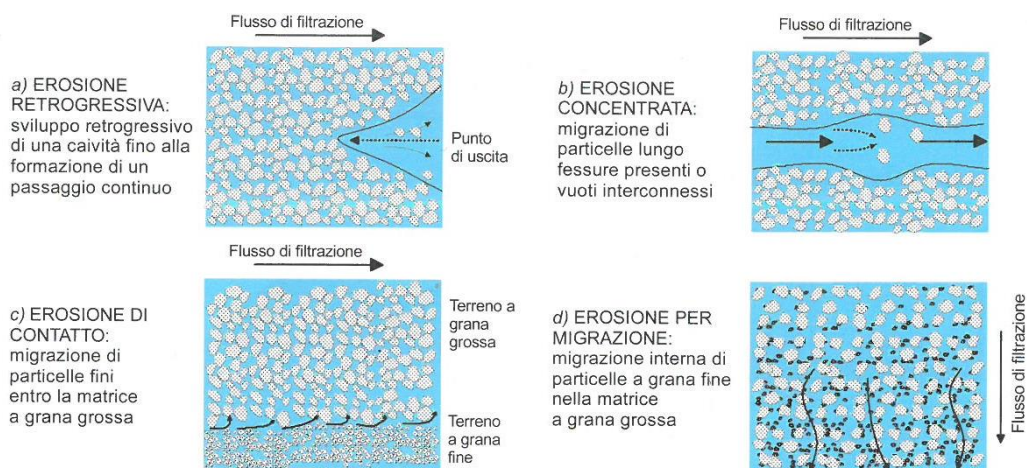


Figura 4.16 Principali meccanismi di erosione interna degli argini. Simonini et al. (2014) *Caratterizzazione geotecnica, meccanismi di collasso e monitoraggio degli argini fluviali. Atti XXV Convegno Nazionale di Geotecnica.*

È opportuno ricordare che si tratta di dissesti localizzati e che si sviluppano nel tempo in modo lento, ma tali da non compromettere le ottimali condizioni di stabilità globale delle due dighe, come indicato nella relazione di Cinigeo (2022 rif. (6)) e confermato dalle verifiche riportate nella relazione sui calcoli R3 del presente PFTE.

I dati delle livellazioni e quanto è stato possibile rilevare nel corso del sopralluogo indicano, in termini di cedimenti, una condizione del coronamento e paramento di valle di instabilità più evidente per la diga di Bavorada rispetto a quella di Case Miais.

Con riferimento a quest'ultima si rilevano cedimenti del coronamento significativi solo per la parte più a est dove sono stati misurati assestamenti (vedi Figura 4.6) sino a 100 mm, anche se il corpo diga ha un'altezza molto limitata inferiore a 2÷2.5 m. Si ritiene che tali cedimenti siano legati principalmente alla presenza di terreni di fondazione di natura coesiva di scarsa capacità portante e compressibili.

I dati di monitoraggio piezometrici indicano condizioni di flusso e livelli piezometrici simili per il corpo delle due dighe.

5 INTERVENTI IN PROGETTO

5.1 ANALISI DELLE ALTERNATIVE

Gli interventi che sono stati valutati al fine di migliorare le condizioni dei paramenti di valle delle due dighe sono di due tipologie.

La prima riguarda interventi di ringrosso e rinforzo del paramento di valle, con o senza il rifacimento del cordolo in c.a. di sommità (Intervento tipo 1 o 2 rispettivamente), atti a limitare la pendenza attuale delle scarpate.

Come schematizzato nelle seguenti figure tali interventi consistono in:

- ripristino e rinforzo del muro a secco esistente al piede con gabbioni metallici, in grado di garantire la funzione di drenaggio del muro esistente;
- riprofilatura della scarpata di valle con pendenza 1 su 2.5 (V su H) grazie all'utilizzo di terre armate al piede e con l'utilizzo di materiale granulare drenante;
- rivestimento del paramento con terreno vegetale protetto da geostuoia antierosiva armata con rete da doppia torsione e idrosemina;
- eventuale rifacimento del muro di sommità di valle (solo intervento tipo 2).

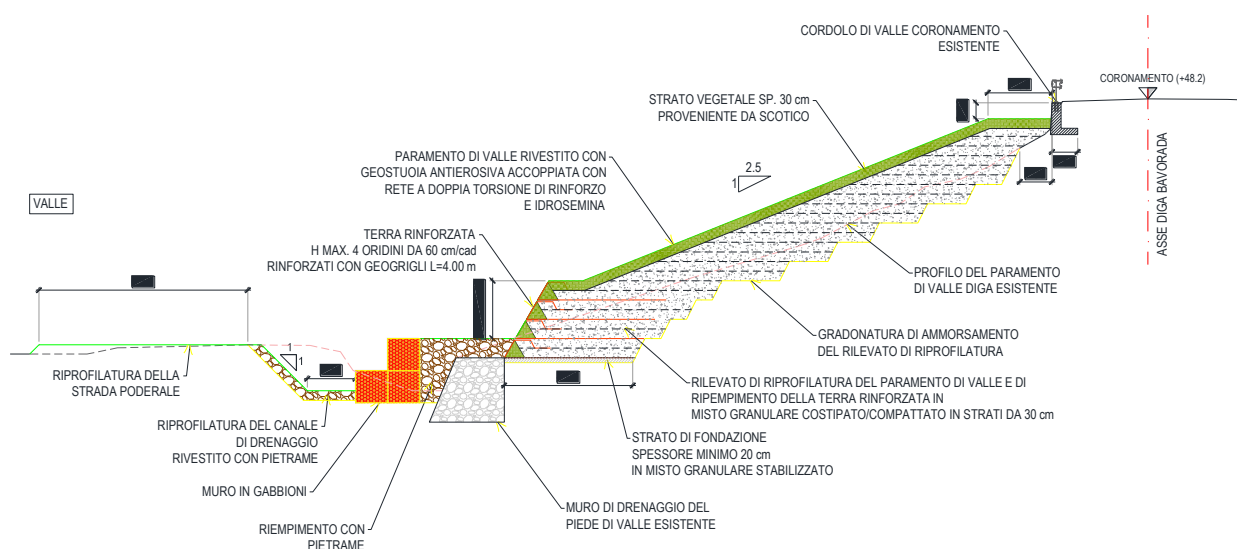


Figura 5.1. Riprofilatura profilo di valle. Proposta intervento tipo 1.

La seconda tipologia di interventi riguarda i sistemi in grado di limitare la filtrazione nel corpo diga e nei terreni di fondazione, proposta che alla luce dei risultati dello studio Cinigeo e delle verifiche condotte non appare prioritaria.

La proposta (Intervento tipo 3) prevede la messa in opera di un diaframma plastico al centro della diga (vedi figura seguente).

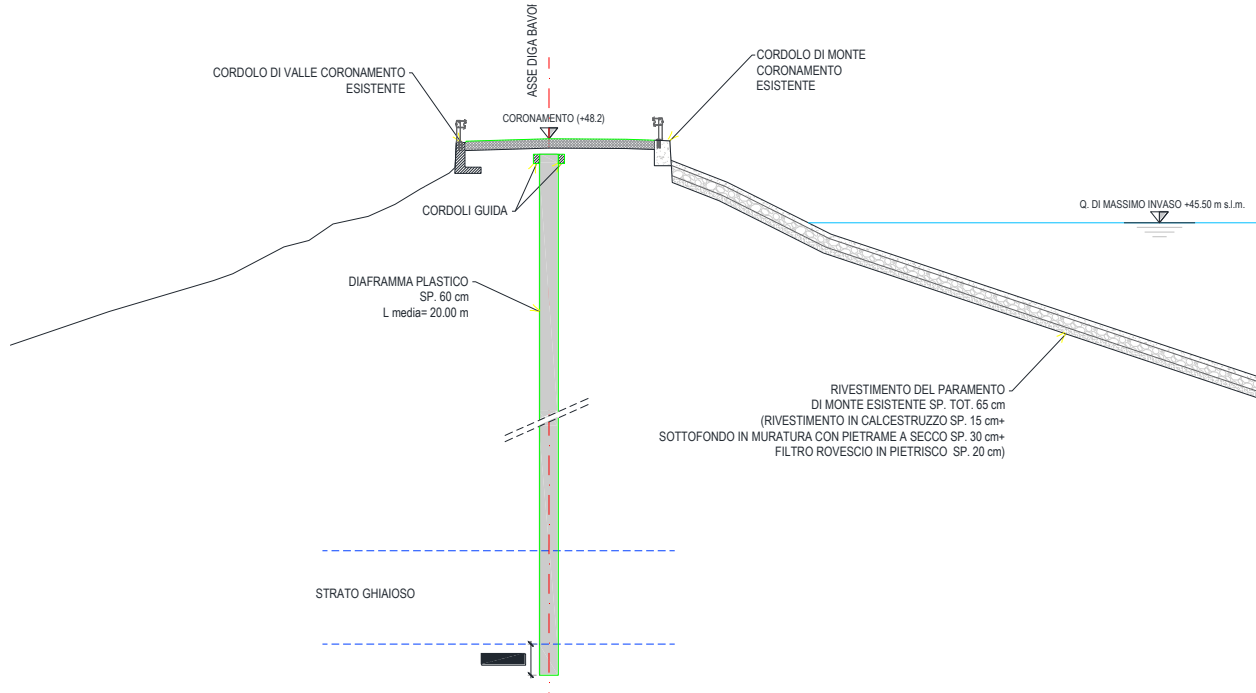


Figura 5.2. Diaframma plastico. Proposta intervento tipo 3.

L'altra proposta di intervento (4) riguarda la completa impermeabilizzazione del paramento di monte, con membrana impermeabilizzante, e rifacimento della protezione superficiale in lastre di calcestruzzo e la realizzazione di un nuovo taglio di tenuta idraulica, all'unghia di monte (vedi Figura 5.3).

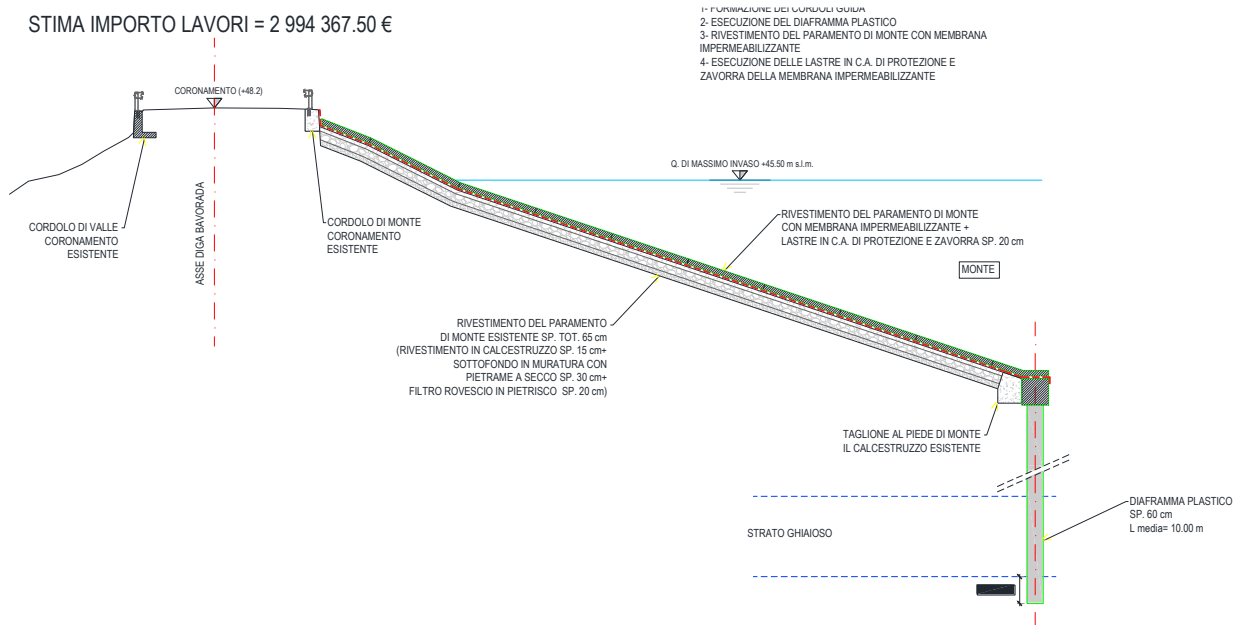


Figura 5.3. Impermeabilizzazione paramento di monte. Proposta intervento tipo 4.

Nella seguente tabella si riporta la stima preliminare del costo delle differenti proposte suddivisi per le due dighe.

Tabella 1: Stima di massima dei costi per gli interventi proposti. Analisi delle alternative

Intervento proposto tipo	Case Miais	Bavorada
Stima di massimo costo opere in M di euro		
1 Riprofilatura paramento di valle	4-4.5	1.5-2
2 Riprofilatura paramento di valle con rifacimento del cordolo in c.a.	4.5-5.5	2-2.5
3 Diaframma plastico	2.5-3 (valutato per uno sviluppo di 900 m circa dove la diga è fondata sulla formazione alluvionale di Porto Vesme).	1-1.2
4 Impermeabilizzazione paramento di monte	4.5-5.5	2.3-2.8

La stima preliminare dei costi si è resa necessaria dovendo trovare riscontro nell'ambito del finanziamento disponibile pari a 3.2 M di euro per lavori e oneri della sicurezza.

Tali proposte sono state valutate e discusse in via preliminare con EN.A.S., con l'Ing. Todde ingegnere responsabile della diga, e con l'UTD di Cagliari.

Le valutazioni condivise hanno portato a valutare come prioritario l'intervento 1 di riprofilatura e rinforzo del paramento di valle.

Il finanziamento a disposizione non è in grado di assicurare la realizzazione di tale intervento su entrambe le dighe, si è quindi ritenuto opportuno prevedere l'intervento in maniera completa per la diga di Bavorada, laddove i dati del monitoraggio indicano condizioni di dissesto più evidenti, ed estenderlo in modo parziale su Case Miais laddove la diga ha altezze maggiori. I dettagli delle opere previste nel presente PFTE sono riportati al seguente paragrafo.

Non appena ci sarà la disponibilità economica tale intervento andrà esteso anche alla restante porzione di Case Miais.

Andranno considerati nel futuro anche gli interventi di riduzione della filtrazione, in particolare con il diaframma plastico, da estendere per un tratto di 400 m circa sulla diga di Bavorarda (laddove l'altezza diga è maggiore) e per un tratto di 900 m circa per Case Miais nella porzione est della diga laddove è fondata sui depositi alluvionali e permeabili di Portovesme.

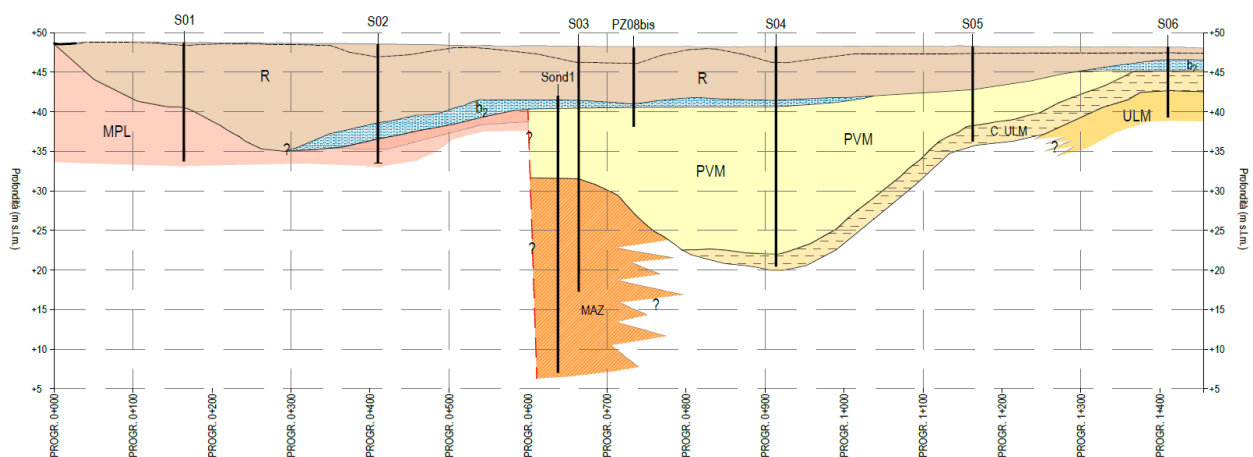


Figura 5.4. Profilo geologico geotecnico schematico della diga a Case Miais (Asf=asfalto; R=Riporto, b_2 =coltri eluvio colluviali, PVM= Sintema di Portovesme, MAZ=Daciti di Matzaccara, C.ULM cappellaccio di alterazione delle Rioliti di Monte Ulmus, ULM=Rioliti di Monte Ulmus)

5.2 DESCRIZIONE INTERVENTI IN PROGETTO

5.2.1 Interventi principali

Gli interventi previsti nel presente PFTE riguardano, come già detto, il rinforzo e la risagomatura del paramento di valle di Bavorada e di un tratto di circa 310 m della diga di Case Miais (vedi Figura 5.5).



Figura 5.5. Planimetria con ubicazione dell'intervento su Case Miais

L'intervento prevede quanto segue:

- ripristino e rinforzo al piede del muro a secco esistente con gabbioni metallici. In questo modo si mantiene e potenzia la funzione di dreno conservando anche dal punto di vista paesaggistico una sostanziale uniformità con le opere e mantenendo l'effetto di pietra a vista;

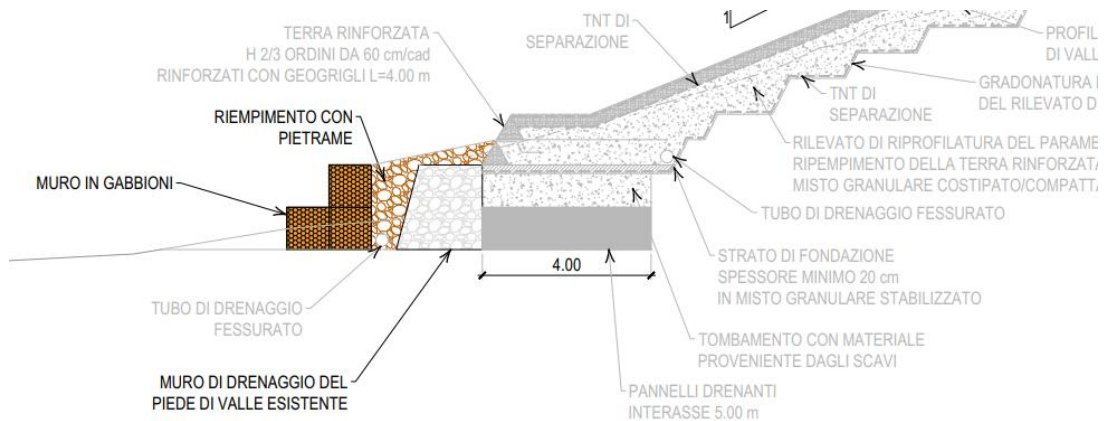


Figura 5.6. Dettaglio del rinforzo con gabbioni metallici

- potenziamento del dreno di valle con l'inserimento tra il nuovo muro a gabbioni e quello esistente di una tubazione drenante in grado di facilitare la raccolta delle eventuali acque di filtrazione e il loro convogliamento in direzione longitudinale verso i canali di scolo previsti e realizzati nel progetto originale;

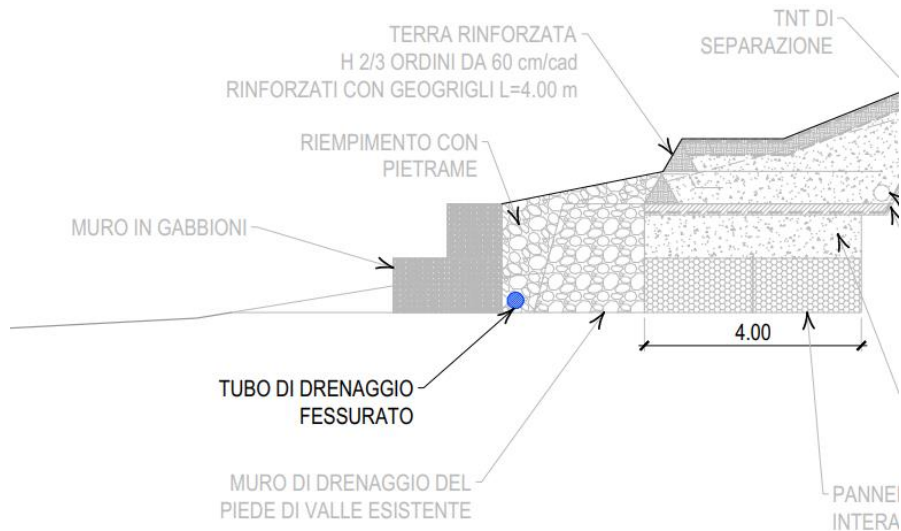
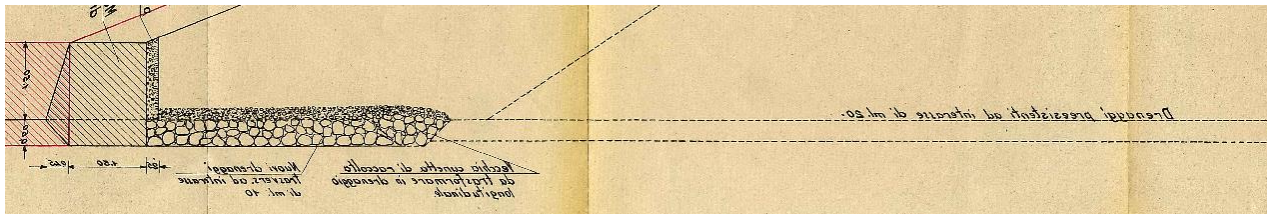
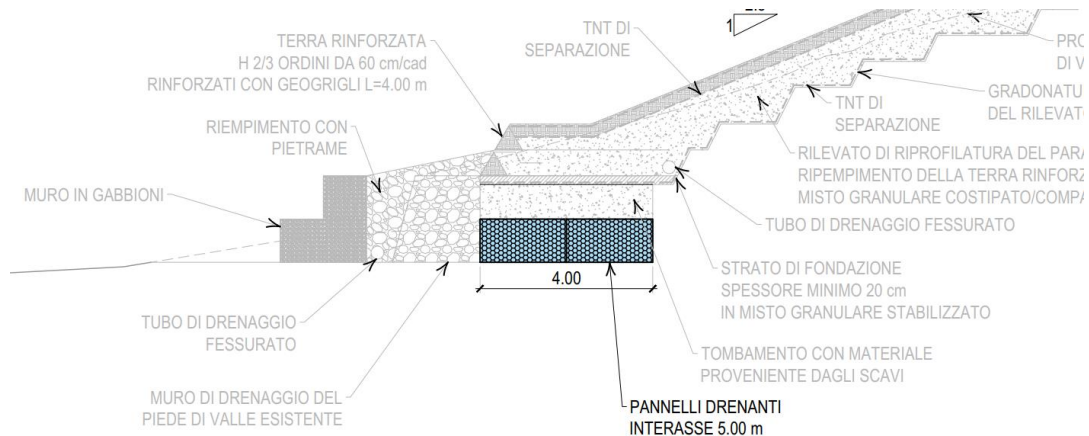


Figura 5.7. Dettaglio della nuova tubazione drenante

- incremento della funzionalità del dreno di valle con inserimento di elementi drenanti prefabbricati ad interasse di 5 m;



a)



b)



c)

Figura 5.8.a) Dreni esistente $\approx 10m$. b) Posizione nuovi dreni prefabbricati. c) Dreni prefabbricati

- riprofilatura del paramento di valle con pendenza 1 su 2.5 (V su H), previo scotico e rinforzo al piede con terre armate. La riprofilatura è prevista con terreno granulare appartenente ai gruppi A1, A3, A2-4 e A2-5 secondo la UNI 11531. L'utilizzo di materiale granulare di buona permeabilità garantisce una funzione drenante e di contenimento delle linee di filtrazione. Inoltre le caratteristiche di resistenza di tale materiale non sono sensibili a cicli di imbibizione ed essiccamento. Nel documento di indirizzo alla progettazione (rif. (8)) veniva espressamente richiesto di valutare l'eventuale riutilizzo dei sedimenti presenti

nell'invaso in base alle indicazioni riportate nel Piano di Gestione invaso della diga (rif. (9)). Le analisi condotte sui sedimenti hanno però indicato che rientrano nella Tab.1/B del D.Lgs 152/2006, quindi si tratta di materiali idonei per il riutilizzo in aree ad uso commerciale e industriale ma non per aree residenziali e a verde pubblico. I sedimenti sono inoltre di natura prevalentemente limosa e si presentano con spessori abbastanza limitati dell'ordine di 50 cm circa. Per quanto sopra si è ritenuto di non utilizzare tali materiali per la riprofilatura dei paramenti di valle.

Il materiale dovrà essere rullato e compattato in strati di spessore massimo di 30 cm con mezzi di compattazione idonei all'intervento in oggetto sia tradizionali (rulli) che manuali, sino ad ottenere una densità in sito pari ad almeno il 92% di quella massima valutata con prova Proctor Standard.

Come risulta evidente dalla figura seguente, il progetto prevede quote maggiori rispetto a quelle attuali lungo il paramento per un'altezza massima di 1-1.5 m tali quindi da non causare cedimenti significativi del corpo diga e dei terreni di fondazione.

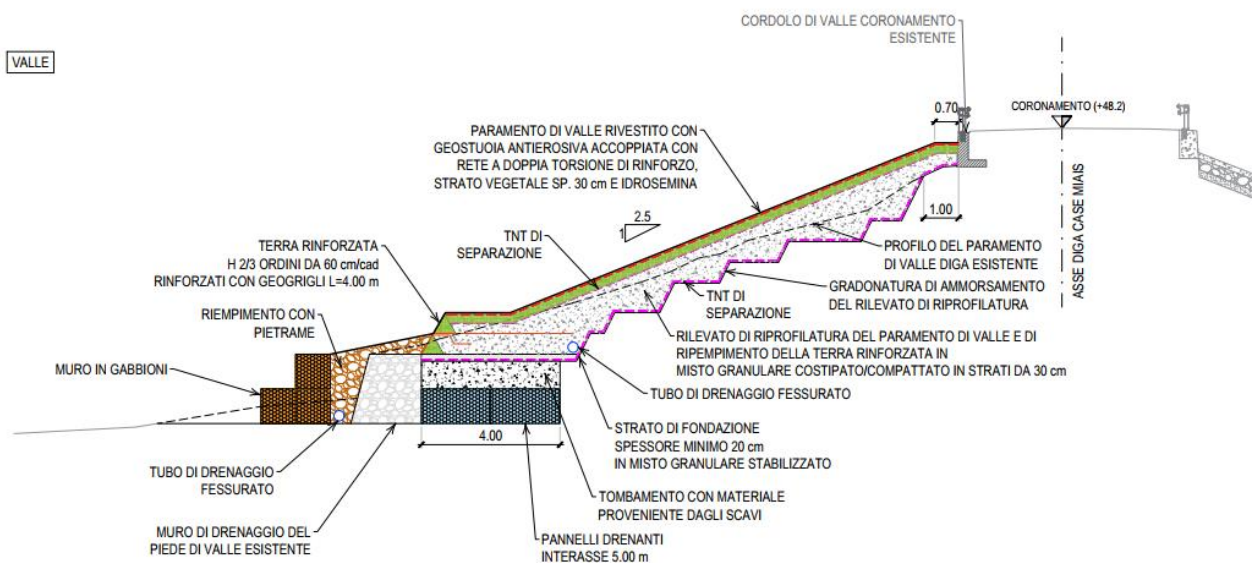


Figura 5.9. Sezione tipologica dell'intervento di riprofilatura

- il paramento verrà infine protetto con uno strato di terreno vegetale di spessore pari a 30 cm a sua volta protetto con un geocomposito anterosivo accoppiato a rete metallica a doppia torsione con la funzione di limitare i fenomeni erosivi

anche a breve termine prima che sia maturato il rinverdimento ma anche di proteggere il paramento nel caso di pascolo incontrollato di pecore.



Figura 5.10. Geocomposito anterosivo accoppiato a rete metallica a doppia torsione

5.2.1.1 Fasi esecutive

L'intervento dovrà essere realizzato seguendo le seguenti fasi:

- posa dei nuovi muri con gabbioni metallici;
- potenziamento del dreno di valle;
- scavo di sbancamento per creare il piano di imposta delle terre armate. Lo scavo va limitato solo all'area inferiore del paramento;
- posa dei dreni prefabbricati;
- formazione piano di posa delle terre armate con misto granulare stabilizzato previa separazione e protezione con geotessuto;
- formazione delle terre armate;
- scavo a gradoni della parte superiore del paramento;
- riprofilatura con materiale granulare steso in strati da 30 cm con pendenza 1 su 2.5;
- posa del terreno vegetale;
- posa del geocomposito anterosivo;
- idrosemina.

5.2.2 Interventi secondari

Gli interventi secondari previsti riguardano:

- rifacimento del cordolo di valle del coronamento per un tratto di 50 m per la diga di Case Miais portando la base del cordolo da 80 cm a 170 cm, come riportato nella figura seguente.

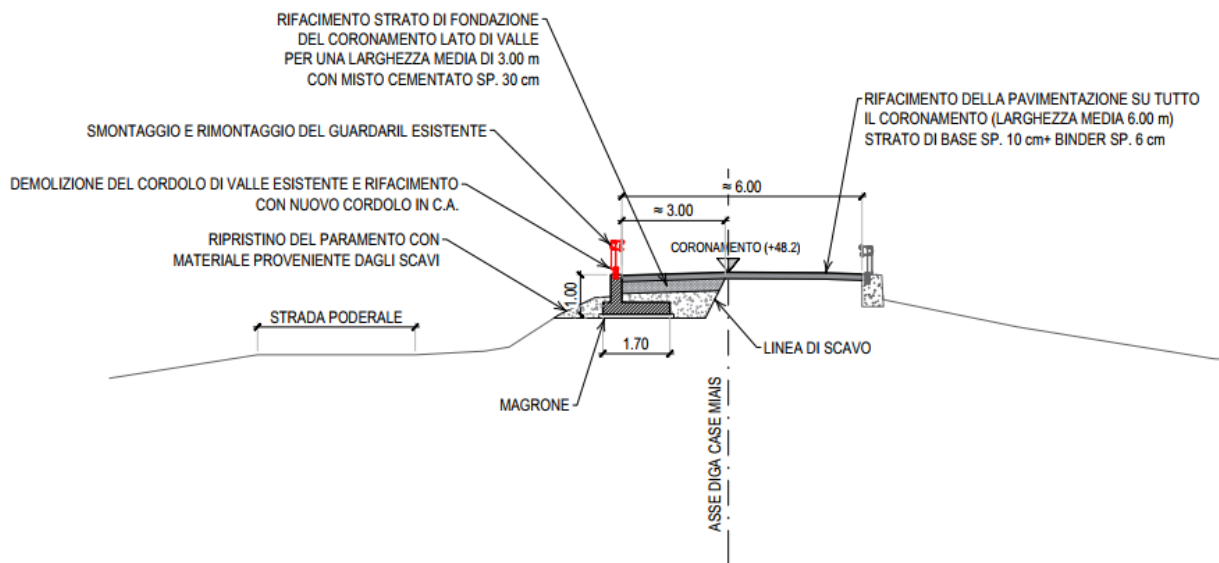


Figura 5.11. Sezione di intervento tipo 1 Case Miais

- pulizia – ripristino del canale di scolo di drenaggio al piede della diga Bavorada.

ALLEGATO 1: ELABORATI PROGETTO ORIGINALE

ALLEGATO 2: DATI MONITORAGGIO